

Studi Eksperimental Pengaruh Posisi dan Kedalaman Takikan U Terhadap Frekuensi Natural dan Respon Getaran pada Batang Kantilever Menggantung

Ardi Noerpamoengkas¹, Miftahul Ulum², dan Naguib Mahfoudz³

Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya^{1,2,3}

e-mail: ardi@itats.ac.id

ABSTRACT

Cantilever beam structure is widely used for static load and rotating machinery support. Most studies of it place it in horizontal position. Its experiment will give the initial transversal deflection due to its own gravity load. This research puts the cantilever beam structure in hanging condition so that the effect is eliminated. The vibration transmissibility is also studied. The unbalance mass mechanism with controlled motor gives excitation to the beam system. Accelerometer is used for vibration response measurement. The transmissibility is calculated by measuring the unbalance mass frame response and the beam free end response. The excitation frequency with higher value than the natural frequency's is given for response measurement. U-notch is given to the cantilever beam with various position and depth. The farther notch from the base causes natural frequency, acceleration response amplitude, RMS (Root Mean Square), and transmissibility increase. Whereas the deeper notch causes the opposite.

Kata kunci: *Cantilever beam, hanging structure, natural frequency, notch, vibration response.*

ABSTRAK

Struktur batang kantilever banyak digunakan sebagai penyangga benda statis maupun mesin-mesin berputar. Kebanyakan studi mengenai batang kantilever menempatkannya pada posisi horizontal. Eksperimen terhadapnya memberikan defleksi awal arah transversal batang akibat beban sendiri. Penelitian ini menempatkan batang pada posisi menggantung sehingga batang tidak mengalami hal tersebut. Selain itu, juga dilakukan studi perambatan getaran pada struktur tersebut. Studi eksperimen penelitian ini menggunakan eksitasi massa tak seimbang yang digerakkan oleh motor dengan pengatur kecepatan. Respon getaran diukur menggunakan akselerometer. Transmisibilitas dihitung dengan memperhatikan respon getaran rangka motor massa tak seimbang, dan ujung batang kantilever. Frekuensi eksitasi yang tinggi di atas frekuensi natural pertama diberikan saat mengukur respon getaran ini. Batang diberi takikan U dengan variasi kedalaman dan posisinya terhadap pangkal batang. Semakin jauh takikan dari pangkal menyebabkan frekuensi natural, amplitudo, RMS (*Root Mean Square*) respon akselerasi, dan transmisibilitas semakin naik. Sedangkan takikan yang semakin dalam menyebabkan hal yang berkebalikan.

Kata kunci: Batang kantilever, frekuensi natural, respon getaran, struktur menggantung, takikan.

PENDAHULUAN

Struktur batang dan rangka dapat digunakan sebagai penyangga benda statis [1], maupun mesin-mesin berputar [2]. Struktur lain yang berbentuk pelat dapat digunakan sebagai panel, dan peredam suara [3]. Penambahan struktur batang sebagai sambungan antar panel dapat mempengaruhi frekuensi natural sistem [4]. Struktur berbahan yang lebih kuat akan dapat menyangga beban secara statis dan dinamis lebih baik [5].

Struktur batang ini dapat ditempatkan menurut berbagai macam batas kondisi, dan posisi. Batas kondisi dapat mempengaruhi frekuensi natural [6]. Struktur dapat ditempatkan secara vertikal, dan horizontal. Penempatan ini juga dapat mempengaruhi frekuensi natural [7]. Semakin banyak batas kondisi tetap dan rendah beban sendiri, maka semakin tinggi frekuensi natural struktur.

Cacat permukaan pada batang dapat diilustrasikan sebagai takikan. Takikan dapat berbentuk V [8][9], dan U [10][11]. Adanya takikan ini menurunkan frekuensi natural batang. Semakin dalam dan posisi semakin ke pangkal batang takikan berbentuk siku maka semakin rendah frekuensi naturalnya [12].

Namun demikian, studi yang ada menggunakan batang dengan posisi horizontal yang dapat menyebabkan munculnya defleksi awal arah transversal batang akibat beban sendiri. Oleh karena itu, batang diposisikan menggantung untuk mengatasi adanya defleksi tersebut pada penelitian ini. Respon getaran diteliti dengan mengamati transmisibilitas dan respon getarnya pada frekuensi eksitasi yang tinggi. Takikan U digunakan dalam penelitian ini dengan variasi posisi dan kedalaman, dan dengan lebar tetap.

TINJAUAN PUSTAKA

Simulasi frekuensi natural menggunakan software CAE pernah dilakukan oleh Vikas Dive [13]. Objek penelitian berupa batang kantilever dengan bentuk penampang persegi panjang. Variabel input yang diteliti adalah material dan dimensi batang. Penelitian ini tidak memperhatikan beban gravitasi. Frekuensi natural meningkat ketika batang semakin pendek, dan semakin tebal. Studi lain yang dilakukan oleh Rishi Raj [5]. Bahan plastik dengan serat karbon memiliki frekuensi natural lebih tinggi dibandingkan baja paduan.

Pengaruh posisi struktur terhadap frekuensi natural pernah diteliti oleh William Jones [7]. Struktur diilustrasikan sebagai pendulum. Pendulum diposisikan terbalik, horizontal, dan menggantung, dengan kondisi pangkal dijepit. Frekuensi natural tertinggi saat posisi tergantung. Sedangkan pada kebanyakan studi simulasi frekuensi, peneliti tidak melibatkan beban gravitasi dan posisi batang horizontal [5][13]. Batang disimulasi tanpa memperhitungkan beban awal.

Adanya takikan dapat menurunkan frekuensi natural pada batang. Pada penelitian Chati [8], takikan V pada batang kantilever dimodelkan sistem massa-pegas dengan sela pegas di posisi takikan. Semakin dalam dan mendekati pangkal takikan V maka semakin rendah frekuensi natural batang. Nabeel menerapkan takikan V pada batang dengan batas kondisi engsel-pin [9]. Semakin dalam takikan V maka semakin besar rasio defleksi pada modus getar resonansi yang sama. Shravan Gawande memodelkan batang kantilever dengan takikan siku sebagai dua batang yang dihubungkan pegas torsional [12]. Pada penelitian Shravan, jarak yang paling dekat dengan pangkal tidak sampai setengah panjang total batang. Demir membuat spesimen plat dengan lebar takikan U yang ikut membesar seiring kedalamannya [11].

Transmisibilitas diperoleh dengan membandingkan respon getaran pada massa tinjauan dengan getaran asal dari sumber getar. Ardi meneliti transmisibilitas sistem suspensi berperedam non-linier dengan membandingkan eksitasi landasan dan respon massa tinjauan [14]. Yusuf juga meneliti transmisibilitas pada sepeda dengan menempatkan akselerometer pada *fork* sepeda depan dan penyangga dudukan [15]. Pada penelitian ini, sumber getaran adalah rangka motor massa tak seimbang. Sedangkan tinjauan getaran adalah ujung batang kantilever.

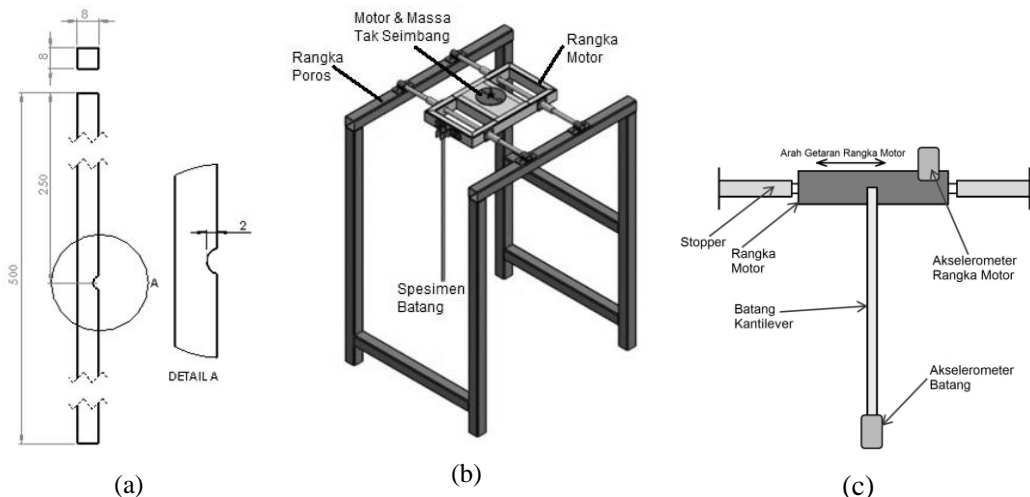
METODE

Penelitian ini menggunakan batang kantilever menggantung berpenampang persegi dan berbahan ASTM A36. Dimensi penampang 8 mm x 8 mm. Panjang batang 500 mm. Takikan menggunakan bentuk huruf U dengan lebar tetap 5 mm. Variasi kedalaman takikan U antara lain 1 mm, 2 mm, dan 3 mm dengan posisi 250 mm dari pangkal batang. Variasi posisi takikan U antara lain 83 mm (1/6 panjang total), 250 mm (3/6 panjang total), dan 417 mm (5/6 panjang total) diukur dari pangkal batang dengan kedalaman takikan 2 mm. Gambar contoh spesimen dengan posisi takikan 250 mm dan kedalaman 2 mm dapat dilihat pada gambar 1a.

Mesin penggetar menggunakan mekanisme massa tak seimbang berpengerak motor DC. Kecepatan motor dapat diatur antara 300 rpm sampai 3.200 rpm. Motor ditempatkan pada

rangka. Rangka motor ini dapat bebas bergerak luncur pada posisi tengah dari dua poros. Rangka motor ditempatkan 600 mm dari permukaan lantai sebagai jarak maksimum penempatan spesimen batang kantilever. Batang kantilever ditempatkan menggantung pada rangka motor. Rangka motor dibatasi gerakannya dengan adanya penghalang pada kedua sisinya. Jarak sela antara rangka motor dan penghalang sebesar 2 mm. Tampilan isometris 3 dimensi mesin penggetar dapat dilihat pada gambar 1b.

Akselerometer yang digunakan adalah GY-61 ADXL335 sebanyak 2 buah. Satu akselerometer ditempatkan pada ujung batang kantilever. Akselerometer yang lain ditempatkan pada rangka motor. Data akselerometer ujung batang digunakan untuk mengetahui respon dinamis ujung batang. Data akselerometer rangka motor digunakan untuk mendapatkan transmisibilitas getaran. Gambar penempatan akselerometer ini dapat dilihat pada gambar 1c.



Gambar 1. a) Spesimen batang, b) mesin penggetar, c) penempatan akselerometer.

Frekuensi natural dideteksi dengan melihat secara fisik respon getaran berlebih saat resonansi pada spesimen batang. Frekuensi penggetar dinaikkan dengan menaikkan kecepatan motor pemutar massa tak seimbang. Respon getaran diukur dengan menetapkan kecepatan motor sebesar 20% pada PWM pengontrol kecepatan motor atau 2.000 rpm atau 33 Hz. Respon getaran dari spesimen batang antara lain amplitudo, RMS (*Root Mean Square*) akselerasi, dan transmisibilitas. Transmisibilitas diukur dengan membandingkan respon getaran akselerasi antara rangka motor massa tak seimbang dan ujung batang.

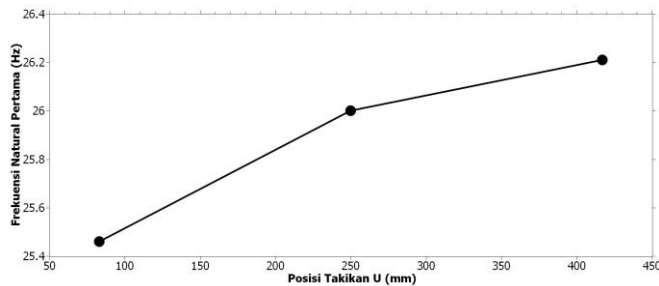
HASIL DAN PEMBAHASAN

Posisi takikan U yang semakin jauh dari pangkal mengakibatkan kenaikan frekuensi natural batang. Tabel hasil eksperimen dapat dilihat pada tabel 1. Grafik hasil eksperimen posisi takikan U dapat dilihat pada gambar 2. Takikan U pada posisi mendekati ujung batang akan menyisakan batang utuh dan *rigid* lebih panjang pada sisi pangkal. Hal ini mengakibatkan batang akan lebih tahan menerima getaran dari pangkal sehingga frekuensi naturalnya tinggi.

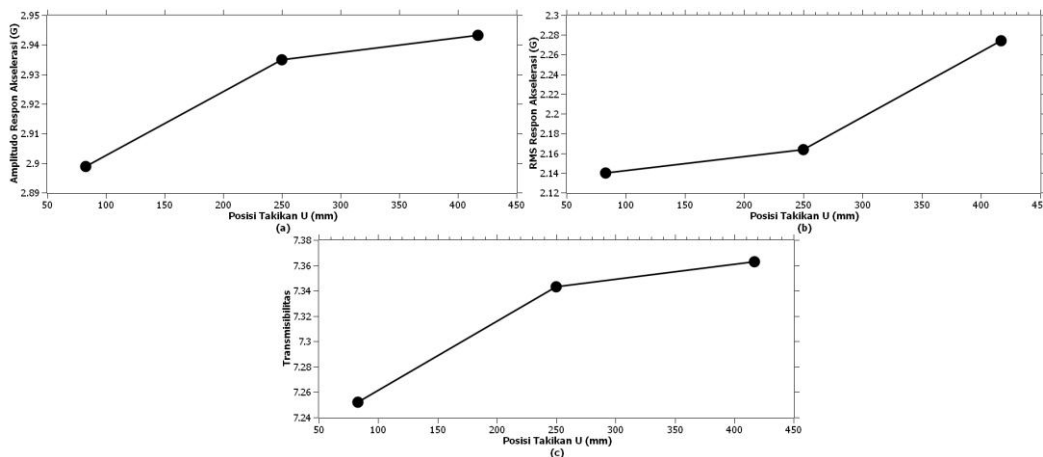
Selain itu, pengaruh variasi posisi takikan U pada frekuensi eksitasi melebihi frekuensi natural pertamanya menunjukkan adanya kenaikan respon getaran. Hal ini terjadi pada grafik amplitudo, RMS respon akselerasi, maupun transmisibilitasnya. Kenaikan ini disebabkan respon getaran batang dengan takikan mendekati ujung masih tinggi pada frekuensi eksitasi tinggi. Sedangkan respon getaran sudah mengalami banyak penurunan pada batang dengan frekuensi natural lebih rendah. Respon getaran akibat variasi posisi takikan U dapat dilihat pada gambar 3.

Tabel 1. Frekuensi natural batang dengan variasi posisi takikan U.

Posisi takikan U (mm)	Kecepatan motor saat resonansi pertama (rpm)	Frekuensi natural pertama (Hz)
83	1527.70	25.46
250	1559.93	26.00
417	1572.83	26.21



Gambar 2. Pengaruh posisi takikan U terhadap frekuensi natural.



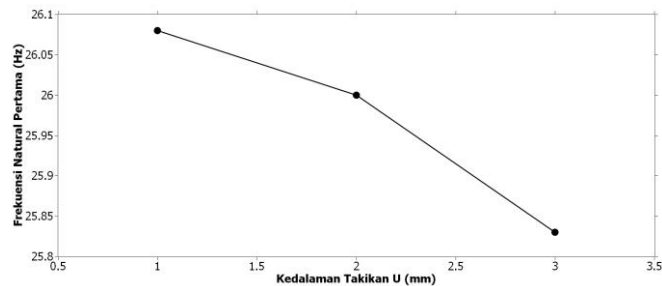
Gambar 3. a) Pengaruh posisi takikan U terhadap amplitudo respon akselerasi, b) RMS respon akselerasi, dan c) transmisibilitas pada frekuensi eksitasi tinggi.

Kedalaman takikan U yang semakin dalam mengakibatkan penurunan frekuensi natural batang. Tabel hasil eksperimen dapat dilihat pada table 2, dan grafiknya pada gambar 4. Luas penampang yang lebih sempit akibat semakin dalamnya takikan menyebabkan penurunan kekakuan batang. Penurunan kekakuan ini yang memberi andil pada penurunan frekuensi natural batang.

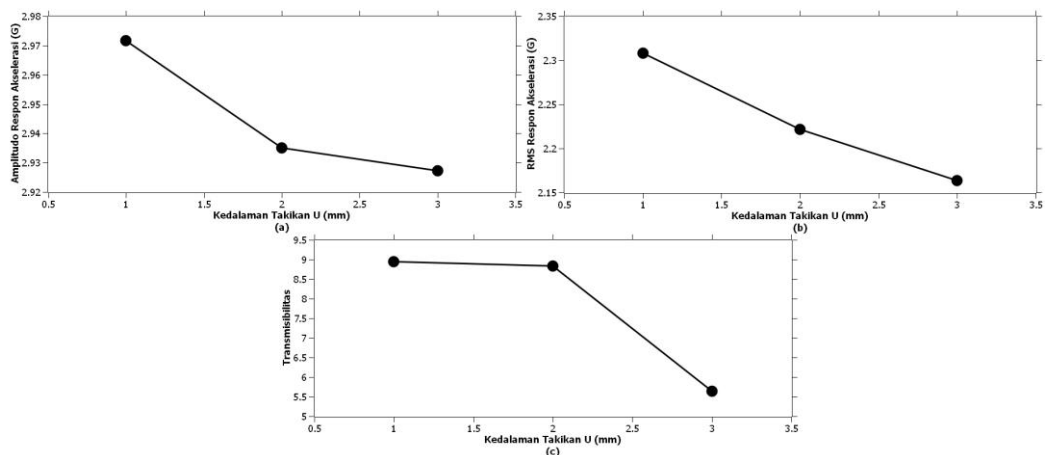
Pengaruhnya terhadap respon getaran pada frekuensi eksitasi tinggi menyebabkan amplitudo, RMS respon akselerasi, dan transmisibilitas semakin turun. Pada kedalaman takikan U yang dangkal, frekuensi eksitasi lebih dekat dengan frekuensi natural sehingga respon getaran cenderung lebih tinggi dibandingkan pada batang dengan takikan U dalam. Respon getaran sudah mengalami penurunan yang semakin banyak pada batang dengan frekuensi natural yang semakin rendah. Grafik penurunan respon getaran ini dapat dilihat pada gambar 5.

Tabel 2. Frekuensi natural batang dengan variasi kedalaman takikan U.

Kedalaman takikan U (mm)	Kecepatan motor saat resonansi pertama (rpm)	Frekuensi natural pertama (Hz)
1	1564.55	26.08
2	1559.77	26.00
3	1549.63	25.83



Gambar 4. Pengaruh kedalaman takikan U terhadap frekuensi natural.



Gambar 5. a) Pengaruh kedalaman takikan U terhadap amplitudo respon akselerasi, b) RMS respon akselerasi, dan c) transmisibilitas pada frekuensi eksitasi tinggi.

KESIMPULAN

Penempatan batang kantilever yang menggantung pada penelitian ini agar tidak ada defleksi awal arah transversal batang akibat beban sendiri. Takikan U diberikan pada batang dengan variasi posisi takikan terhadap pangkal batang dan kedalamannya. Frekuensi eksitasi tinggi diterapkan untuk mengetahui respon getaran ujung batang. Semakin dekat takikan dengan pangkal batang maka semakin turun frekuensi natural. Penurunan ini juga terjadi pada takikan yang semakin dalam. Respon getar ujung batang semakin naik akibat posisi takikan yang semakin jauh dari pangkal. Sedangkan semakin dalam takikan U maka semakin turun respon getaran ujung batang. Respon getaran ini meliputi amplitudo, RMS (*Root Mean Square*) respon akselerasi, dan transmisibilitas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. N. A. A. Saputra, K. R. Dantes, and I. N. P. Nugraha, "Analisis Tegangan Statik pada Rancangan Frame Mobil Listrik Ganesha Sakti (GASKI) Menggunakan Software SolidWorks 2014," *J. Pendidik. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 2, 2017.
- [2] R. M. Ferro, W. G. Ferreira, and A. F. G. Calenzani, "Dynamic Analysis of Support Frame Structures of Rotating Machinery," *Glob. J. Res. Eng. e Civ. Struct. Eng.*, vol. 14, no. 5, pp. 27–31, 2014.
- [3] A. Y. Ismail, A. Noerpamoengkas, and S. I. F. S. Zakaria, "Effect of Micro-holes Addition on the Natural Frequency and Mode Shape of Perforated Plates," *J. Adv. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–6, 2018.
- [4] A. Y. Ismail, M. Ulum, and A. Noerpamoengkas, "PENGARUH DIAMETER LUBANG, RASIO PERFORASI DAN SAMBUNGAN ANTAR PANEL TERHADAP FREKUENSI NATURAL PANEL BERLUBANG GANDA," *Pros. Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap.*, pp. 413–418, Sep. 2018.
- [5] R. Raj, P. K. Sinha, and E. V. Prakash, "Modelling , Simulation and Analysis of Cantilever Beam of Different Material By Finite Element Method , Ansys & Matlab," *Int. J. Eng. Res. Gen. Sci.*, 2015.
- [6] E. F. Joubaneh, O. R. Barry, and H. E. Tanbour, "Analytical and Experimental Vibration of Sandwich Beams Having Various Boundary Conditions," *Shock Vib.*, vol. 2018, pp. 1–15, Jun. 2018.
- [7] J. W. Jones, R. E. Nickell, and W. Bulat, "The Effects of Gravity on Structural Vibration," in *Volume 8: Seismic Engineering*, 2013, p. V008T08A044.
- [8] M. Chati, R. Rand, and S. Mukherjee, "Modal analysis of a cracked beam," *J. Sound Vib.*, 1997.
- [9] N. T. Alshabatat, "Beam Natural Frequency Tuning Using V-Notches," *Contemp. Eng. Sci.*, vol. 5, no. 2, pp. 49–57, 2012.
- [10] S. Ramachandran and V. Khalkar, "Verification of Mathematical Model of a Cracked Cantilever Beam to U-Shape Cracks," *ARPJ. Eng. Appl. Sci.*, vol. 12, no. 15, pp. 4367–4377, 2017.
- [11] E. Demir and M. Sayer, "Investigation of notch effect on vibration behavior of filled and unfilled composite beam," *Int. J. Comput. Exp. Sci. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 33–37, 2017.
- [12] S. H. Gawande and R. R. More, "Effect of Notch Depth & Location on Modal Natural Frequency of Cantilever Beams," *Structures*, 2016.
- [13] V. Dive, M. Bhosale, V. Chavan, and N. Durugkar, "Analysis of Natural Frequencies of Cantilever Beam Using Ansys," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 5, pp. 2724–2728, 2017.
- [14] A. Noerpamoengkas and H. L. Guntur, "Pemodelan Dan Analisis Simulasi Pengaruh Peredam Non-Linear Kubik Dan Asimetri Terhadap Respon Dinamis Kendaraan," in *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XXII*, 2015, p. A-5-1.
- [15] A. Y. Ismail, N. R. Mat Nuri, M. A. Mansor, M. F. Anwar Shukri, and M. A. Afiq, "STUDY ON THE ROAD TRANSMITTED VIBRATION OF A MOUNTAIN BICYCLE," *J. Teknol.*, vol. 77, no. 21, Dec. 2015.